

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

МАКСЮТИН Сергей Владимирович

ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ E_s И МЕЗОТЕРМОСФЕРНОГО
ВЕТРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕО - ГЕЛИОАКТИВНОСТИ

Специальность: 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

КАЗАНЬ - 2004

Работа выполнена в Казанском государственном университете

Научные руководители: кандидат физико-математических наук,
доцент Шерстюков О.Н.
доктор физико-математических наук,
в.н.с. Фахрутдинова А.Н..

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Белашов В. Ю.
кандидат физико-математических наук,
доцент Иванов Д. В.

Ведущая организация: Институт земного магнетизма, ионосферы и
распространения радиоволн Российской
академии наук

Защита состоится « 6 » декабря 2004 г. в 16-00 часов в
аудитории 210 физического факультета на заседании диссертационного
совета Д 212.081.18 по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и
гидросферы в Казанском государственном университете по адресу 420008,
г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
им. Н. И. Лобачевского Казанского государственного университета.

Автореферат разослан « 5 » ноября 2004 года.

Ученый секретарь диссертационного
совета,

Карпов А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Исследование спорадических слоев в области E уже много лет привлекает внимание исследователей. Существенно, что понятие спорадический слой E включает в себя ряд явлений в ионосфере на высотах области E, имеющих различную природу, но проявляющихся на ионограммах сходным образом.

Отличительными чертами спорадических слоев в E области являются: вероятностный характер появления, высокая интенсивность (электронная концентрация в Es слое может в несколько раз превышать концентрацию окружающего регулярного слоя E), локализованность в пространстве и полупрозрачность. Такие особенности спорадических слоев в области E приводили и до сих пор приводят к противоречивым результатам, получаемых различными исследователями.

За прошедшие десятилетия исследований Es слоев изучены особенности суточных, межсуточных, сезонных и межгодовых вариаций параметров среднеширотных Es слоев, однако, не выяснен до конца вопрос о связи спорадического E слоя с вариациями солнечной и геомагнитной активности. Наличие ярко выраженных суточных и сезонных вариаций параметров среднеширотных слоев Es позволяет сделать предположение, что эти слои находятся под сильным солнечным контролем. Также не вызывает сомнения тот факт, что геомагнитное поле играет важную роль в образовании Es слоев. Знание характера зависимости параметров спорадических слоев от магнитного поля способствует выяснению механизмов образования слоев Es.

Многочисленные исследования связи параметров спорадического слоя E с вариациями солнечной и геомагнитной активности привели к противоречивым результатам, и вопрос о влиянии солнечной и геомагнитной активности на параметры слоя Es является актуальным на данный момент. К настоящему моменту в Мировых Центрах Данных накоплены длительные, свыше 3-х циклов солнечной активности, ряды ионосферных параметров, доступных через сеть Интернет. Имеющийся в наличии значительный массив экспериментальных данных позволяет провести детальное изучение влияния солнечной и геомагнитной активности на среднеширотный спорадический слой E.

Поскольку на данный момент общепринятым механизмом образования слоя Es на средних широтах является теория ветрового сдвига, в соответствии с которой формирование Es слоев происходит под действием вертикального ветрового сдвига в присутствии магнитного поля Земли, то воздействие солнечной и геомагнитной активности на параметры слоя Es необходимо рассматривать совместно с эффектами влияния солнечной и геомагнитной активности на динамику нижней термосферы.

Целью диссертационной работы является обнаружение долговременных вариаций в частотных и вероятностных параметрах среднеширотных Es слоев и установление закономерностей влияния вариаций солнечной и геомагнитной активности на частотные и вероятностные параметры среднеширотного спорадического слоя E и динамические параметры нейтральной атмосферы в области высот верхней мезосферы - нижней термосферы.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

1. Выполнить исследования долговременных трендов следующих параметров слоя Es: предельной частоты foEs, частоты экранирования fbEs, интервала полупрозрачности ΔfEs , вероятности появления Es слоя, PEс, и вероятности появления Es слоя с интенсивностью выше заданной, $P(foEs > f_{пор})$ в течение трех циклов солнечной активности и установить их долготную изменчивость.
2. Выполнить исследование влияния вариаций солнечной и геомагнитной активности на указанные параметры спорадического слоя E.
3. Провести исследование влияния вариаций солнечной и геомагнитной активности на динамические параметры нейтральной атмосферы и установить их связь с временными вариациями параметров спорадического E слоя.

Научная новизна представленных результатов работы:

1. Показано, что реакция слоев Es на вариации уровня солнечной активности определяется интенсивностью Es слоев. Впервые выявлена смена знака корреляции вероятности появления Es слоя с уровнем солнечной активности от интенсивности слоя Es.
2. Впервые по данным среднеширотных станций северного полушария выявлены многолетние тренды в частотных и вероятностных параметрах Es слоев и обнаружена региональная зависимость трендов предельной частоты Es слоев: на территории Западной Европы преобладают положительные тренды значений foEs, а на территории России - отрицательные.
3. Получены новые результаты о статистической связи вариаций геомагнитной активности и вариаций динамических параметров нейтральной атмосферы (преобладающий ветер, приливы, мезомасштабная турбулентность) в области высот 80-110 км.
4. По длительному ряду экспериментальных данных (30 лет) получены новые результаты о вариациях параметров Es слоя в условиях геомагнитных возмущений. Впервые на основе координированных измерений динамических параметров нейтральной атмосферы в области высот 80-110 км и параметров слоя Es предложено объяснение выявленных вариаций параметров Es слоя в условиях геомагнитных возмущений воздействием динамических процессов нейтральной атмосферы.

Практическая ценность настоящей работы состоит в том, что:

- полученные результаты важны для решения задач оперативного прогноза частотных параметров спорадического слоя E в условиях возмущенной геомагнитной обстановки.
- выявленные закономерности влияния солнечной и геомагнитной активности на параметры спорадического E слоя важны при развитии эмпирических моделей среднеширотного Es слоя с учетом влияния солнечной и геомагнитной активности.

На защиту выносятся:

1. Установленные в течение трех солнечных циклов особенности долговременных трендов частотных и вероятностных параметров Es слоев и выявленная зависимость знака тренда значений foEs от географического положения пунктов измерения.
2. Обнаруженные эффекты влияния солнечной активности на среднеширотные Es слои различной интенсивности.
3. Характер влияния геомагнитных возмущений на Es слой для каждого сезона года для двух уровней солнечной активности (среднегодовое число $W > 75$ и $W \leq 75$).
4. Результаты комплексного исследования статистической связи солнечной и геомагнитной активности, частотных и вероятностных параметров среднеширотного Es слоя и динамических параметров нейтральной атмосферы в области высот верхней мезосферы - нижней термосферы.

Достоверность полученных результатов подтверждена статистической надежностью многолетних наблюдений на 22 среднеширотных ионосферных станциях и радиометеорных наблюдений циркуляции верхней мезосферы - нижней термосферы, а также методически обоснованной обработкой результатов измерений и отсутствием противоречий с положениями теории ветрового сдвига.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были представлены на 32, 33, 35-й Научных Ассамблеях "COSPAR" (Япония, Нагойя, 1998; Польша, Варшава, 2000; Франция, Париж, 2004), международной конференции IAGA Workshop (Чехия, Прага, 2000), XIX, XX Всероссийских конференциях по распространению радиоволн (Казань, 1999; Н.Новгород, 2002), а также на научных конференциях Казанского государственного университета.

Результаты работы внедрены в учебный процесс и используются в программе подготовки магистров, а также при выполнении курсовых и дипломных работ.

По материалам диссертации опубликовано 25 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 153 страницы текста, 30 рисунков, 14 таблиц, список литературы, который включает 168 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, ее цель, научная новизна и практическая значимость; формулируются положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации представляется краткий обзор теорий образования среднеширотных Es слоев, а также результатов экспериментальных работ и теоретических исследований, посвященных изучению долговременных вариаций параметров Es слоев и эффектов влияния вариаций солнечной активности на среднеширотный слой Es.

Проведено исследование долговременных вариаций (трендов) в параметрах слоя Es для 22 среднеширотных станций северного полушария за период 1958-1990 г.г. Выявлены значимые тренды частотных и вероятностных параметров спорадических E слоев.

Описание долговременных вариаций параметров foEs, fbEs и $\Delta fEs = foEs - fbEs$ для двух следующих моделей (в первой модели выделяется только временной тренд, во второй дополнительно учитывается влияние солнечной и геомагнитной активности) выполнялось с использованием регрессионного анализа:

$$\langle F \rangle = A_{11} + A_{12} * (t - t_0) \quad (1)$$

$$\langle F \rangle = A_{21}(1 + B_1 * Kp + B_2 * W) + A_{22} * (t - t_0) \quad (2)$$

где t - время в годах, t_0 - 1957 год, Kp и W - среднегодовые нормированные значения индекса геомагнитной активности Kp и числа солнечных пятен, соответственно.

В работе проверялось предположение о том, что существующие во временных рядах индексов солнечной и геомагнитной активности тренды могут привести к значимому изменению трендов, выявляемых в параметрах слоя Es. Проведенный анализ показал, что учет влияния солнечной и геомагнитной активности приводит к изменению величин выявленных трендов в пределах 25 %.

Для большинства рассмотренных станций выявлены значимые положительные тренды во временных рядах значений параметра fbEs и значимые отрицательные тренды во временных рядах интервала полупрозрачности ΔfEs (рис. 1). Для параметра foEs выявлена региональная зависимость знака тренда: на территории Западной Европы преобладают положительные тренды значений foEs, тогда как на территории России - отрицательные. Отмечено, что результаты, полученные для некоторых из рассмотренных станций, не соответствуют выявленной тенденции. В результате проведенного анализа сделан вывод,

что непостоянство знака тренда foEs для различных станций определяется соотношением величин противоположно направленных трендов в параметрах fbEs и ΔfEs .

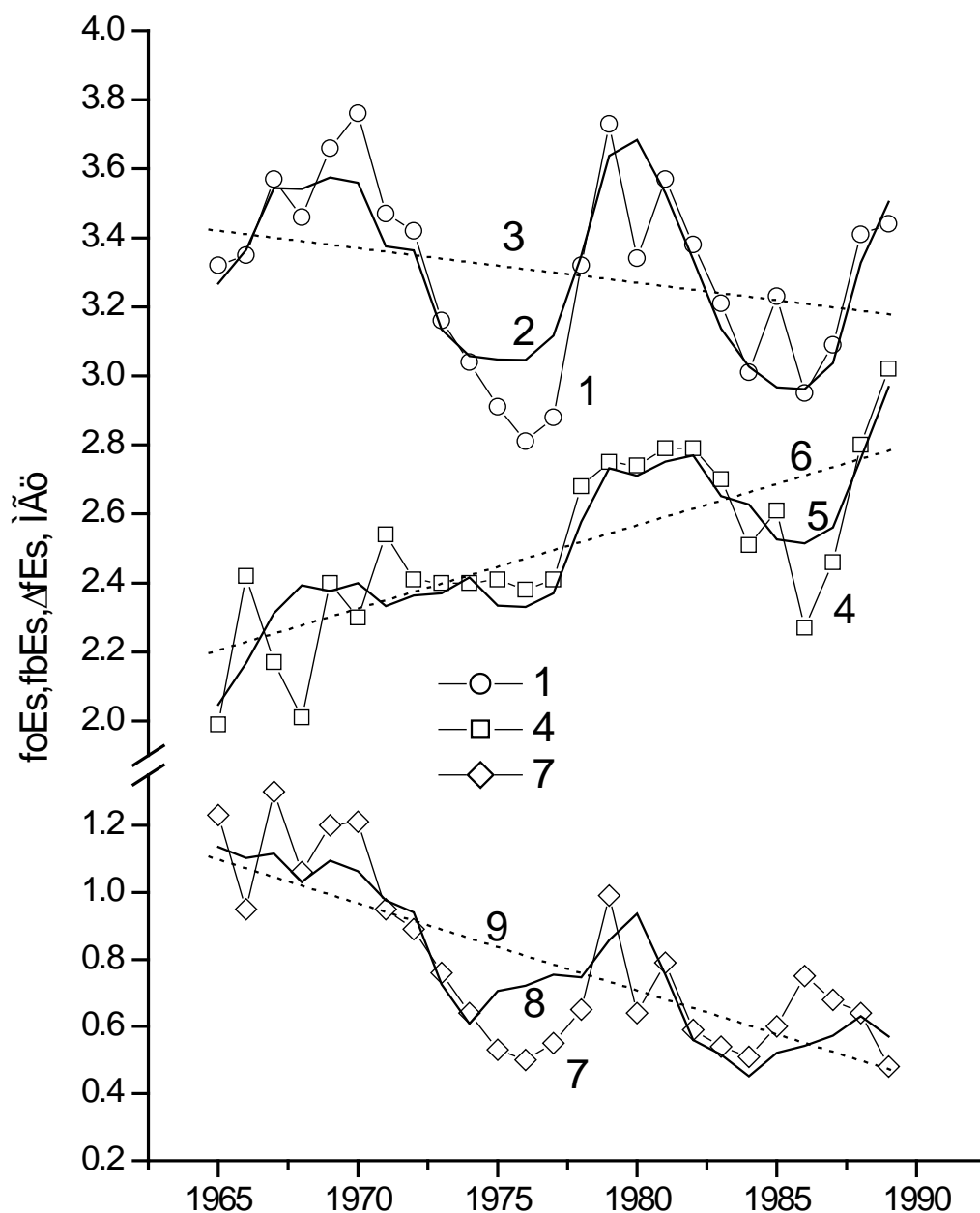


Рис. 1 Долговременные вариации летних среднесуточных значений параметров foEs (1), fbEs (4) и ΔfEs (7) для станции Lycksele, а также описание для модели 1 (3,6,9) и для модели 2 (2,5,8), соответственно.

В ходе исследования зависимости трендов значений частотных параметров Es слоя от времени суток и сезона, обнаружено, что тренды, выделенные в рядах дневных значений частотных параметров слоя Es по абсолютной величине обычно меньше, чем для ночных, а тренды значений

параметров слоя Es для зимнего сезона не имеют систематических отличий от трендов, выявленных для лета.

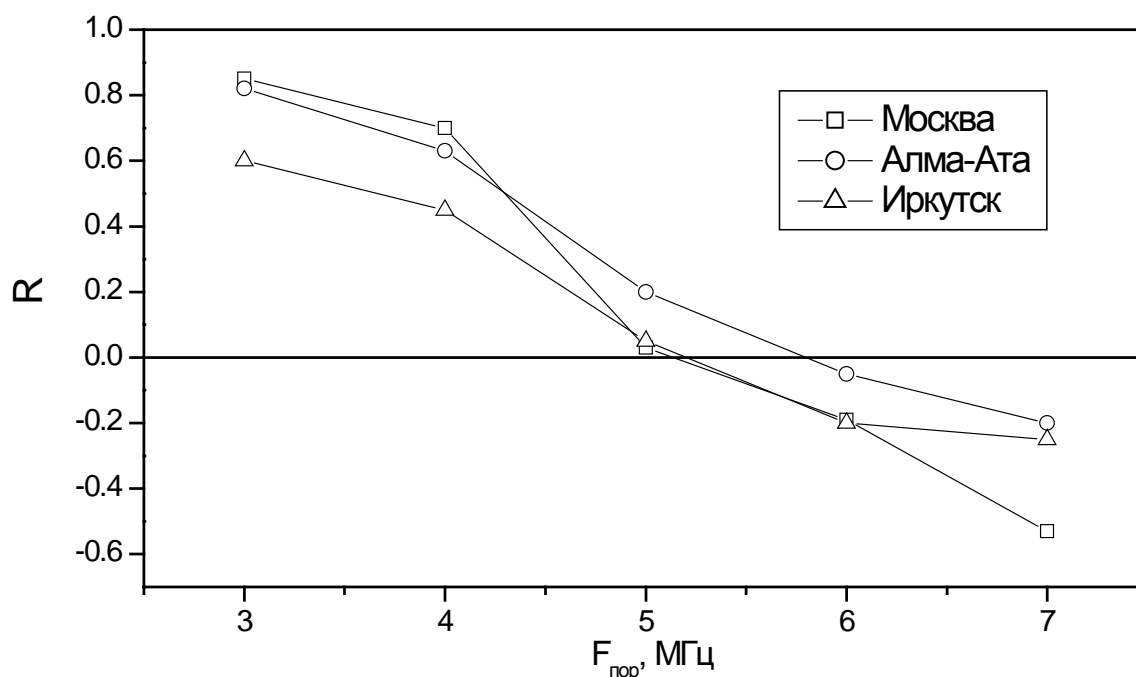


Рис. 2 Коэффициент корреляции среднегодовой вероятности появления Es слоя $P(foEs > F_{пор})$ с уровнем солнечной активности в зависимости от интенсивности Es слоя.

Проведен анализ влияния уровня солнечной активности на параметры Es слоев для периода 1958-1990 г.г. Обнаружено, что реакция параметров спорадического E слоя на вариации уровня солнечной активности различна в дневное и ночное время, а также зависит от интенсивности рассмотренных слоев. Выявленные различия в реакции Es слоев на вариации уровня солнечной активности предположительно вызваны различием в ионном составе Es слоев разной интенсивности. Для интенсивных слоев, состоящих из металлических ионов, наблюдается отрицательная корреляция с уровнем солнечной активности, для слабоинтенсивных слоев, состоящих из молекулярных ионов - положительная корреляция (рис. 2). Зависимость реакции слоя Es на изменение уровня солнечной активности от времени наблюдения Es слоя имеет те же причины – ночные Es слои состоят преимущественно из металлических ионов с большим временем жизни, дневные Es слои в значительной степени состоят из молекулярных ионов.

Значимая положительная корреляция слабоинтенсивных Es слоев, состоящих из молекулярных ионов с уровнем солнечной активности, как мы полагаем, вызвана усилением ионизации молекул газов УФ - излучением в годы максимума солнечной активности, как и для

регулярного слоя E (который также в значительной степени состоит из молекулярных ионов с малым временем жизни и демонстрирует сильную положительную корреляцию с циклом солнечной активности).

Выявленная отрицательная корреляция интенсивных Es слоев, как в дальнейшем показано в третьей главе, является результатом опосредованного воздействия вариаций уровня солнечной активности на преобладающий нейтральный ветер, что, в свою очередь, приводит к изменению условий образования Es слоев.

Во второй главе диссертации представляется краткий обзор результатов экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению эффектов влияния вариаций геомагнитной активности на параметры спорадического слоя E. Показано, что реакция слоя Es на вариации геомагнитной активности зависит от времени суток, сезона, широты. Приведенный обзор результатов экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению эффектов влияния вариаций геомагнитной активности на параметры Es слоя, позволил сделать вывод о том, что в настоящее время для средних широт не существует общепринятого механизма влияния геомагнитной активности на спорадический слой E.

Проведено исследование характеристик распределения межсуточных вариаций параметров Es слоев в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях для станции Москва. Показано, что для всех сезонов наблюдается значимое увеличение дисперсии распределений (и только весной – значимое изменение среднего). Такое изменение параметров упомянутых распределений в результате воздействия геомагнитных возмущений возможно при наличии двух противоположных типов реакции слоя Es на геомагнитные возмущения, а именно, увеличение или уменьшение интенсивности слоя Es при прохождении геомагнитных возмущений. Проведенный анализ подтвердил наличие обоих типов реакций, причем тип реакции определяется состоянием слоя Es на момент прохождения возмущения: уменьшение интенсивности Es слоя происходит в случае, если в предшествующие возмущению сутки существовал интенсивный спорадический слой E, и увеличение, если в предшествующие возмущению сутки спорадический слой E отсутствовал или был слабо выражен.

Анализ сезонной изменчивости реакции Es слоев на геомагнитные возмущения показал, что весной и осенью преимущественно имеет место положительная реакция слоя Es при наступлении магнитных возмущений. Летом и зимой чаще проявляются отрицательная реакция.

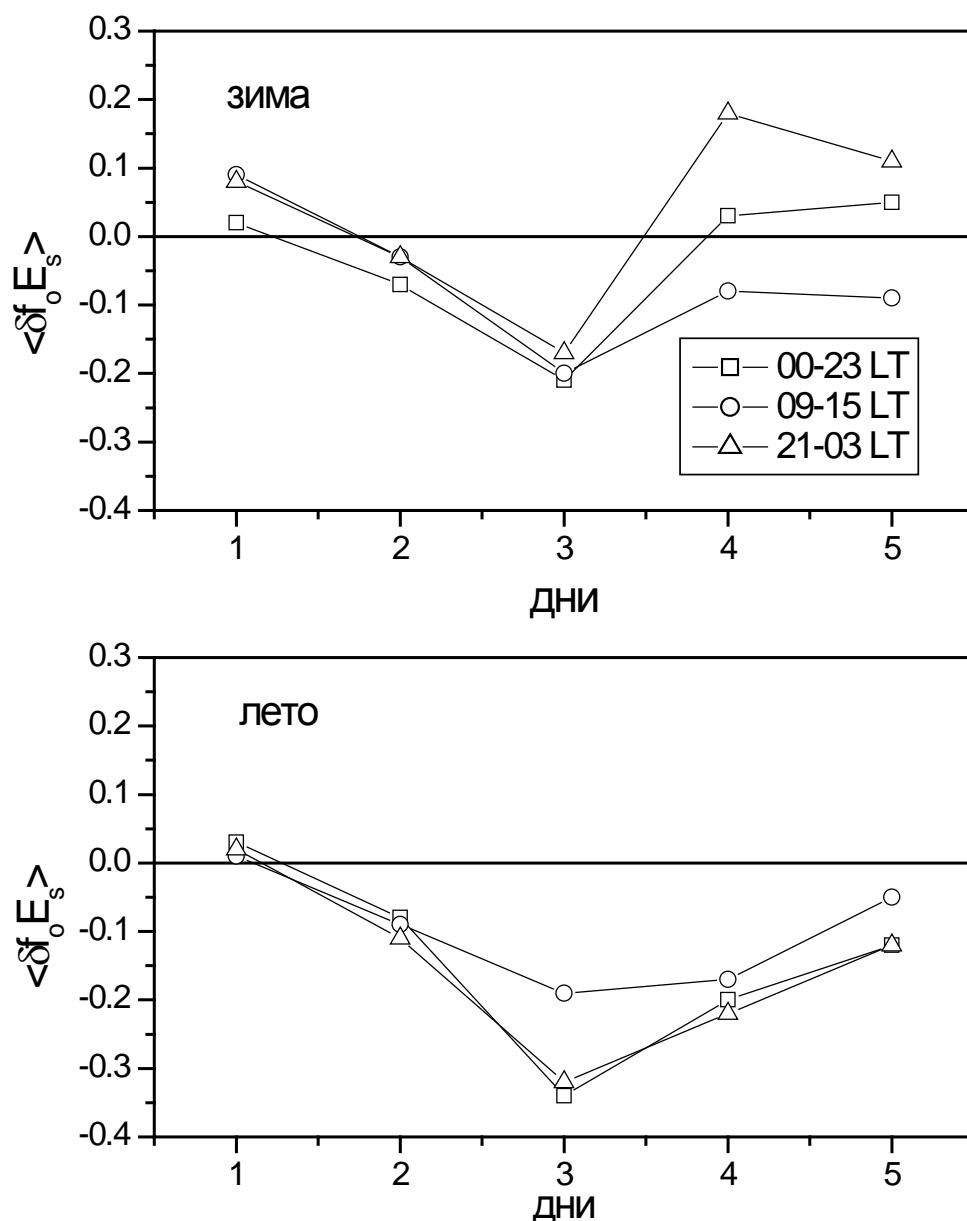


Рис.3 Влияние геомагнитных возмущений на спорадический слой E отдельно для разного времени суток для основных сезонов. Геомагнитное возмущение приходится на день 3.

Выявленные закономерности реакции слоя Es на магнитные возмущения могут быть использованы при краткосрочном прогнозе состояния слоя Es. Методом линейной множественной регрессии для различных сезонов были построены линейные дискриминантные функции, позволяющие на основе данных о состоянии слоя Es для суток, предшествующих геомагнитному возмущению и величине межсуточной вариации Kp индекса прогнозировать тип реакции Es слоя на магнитное

возмущение. Вероятность правильного предсказания типа реакции слоя Es на геомагнитное возмущение составляет $\approx 70\%$.

Проведенный анализ влияния геомагнитных возмущений на временной ход спорадического слоя E показал, что летом и зимой наблюдается преимущественно уменьшение интенсивности слоя Es в день максимума геомагнитного возмущения. Однако, восстановление состояния спорадического слоя E зимой происходит, в основном, на следующие сутки после прохождения геомагнитных возмущений, а летом этот процесс более длителен (рис. 3). Осенью в среднем за сезон наблюдается увеличение интенсивности слоя Es с запаздыванием на 1-2 суток по сравнению с началом геомагнитных возмущений. Весной выраженной реакции слоя Es на геомагнитную активность не наблюдается.

В ходе анализа зависимости реакции слоя Es на геомагнитные возмущения от времени суток выяснено, что среднесуточные вариации частотных параметров слоя Es во время геомагнитных возмущений в темное время суток (21-03h LT) по величине значительно превышают средние вариации в светлое время суток (09-15h LT).

При этом также обнаружено, что в годы с низким уровнем солнечной активности (среднегодовое значение числа солнечных пятен $W \leq 75$) средние вариации частотных параметров слоя Es во время геомагнитных возмущений по величине значительно превышают средние вариации в годы с высоким (среднегодовое значение числа солнечных пятен $W > 75$) уровнем солнечной активности.

В третьей главе диссертации проведен анализ результатов экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению эффектов влияния вариаций солнечной и геомагнитной активности на динамические параметры нейтрального ветра. Указывается, что в ряде работ, приведенных в обзоре, обнаружена зависимость частотных и вероятностных параметров спорадических E слоев от динамических параметров нейтрального ветра в области высот верхней мезосферы - нижней термосферы. Поэтому для учета влияния вариаций солнечной и геомагнитной активности на динамические параметры нейтрального ветра, которые могут привести к изменению условий образования Es слоев необходимо рассмотреть влияние вариаций солнечной и геомагнитной активности как на динамические параметры нейтральной атмосферы, так и параметры Es слоев.

В результате анализа влияния солнечной и геомагнитной активности на динамические параметры нейтрального ветра по радиометеорным измерениям для ст. Казань за 1978-1999 г.г. обнаружено, что реакция на вариации уровня солнечной и геомагнитной активности зависит от высоты, сезона, типа динамических процессов и типа циркуляции (зональной и меридиональной).

Для среднесезонного преобладающего ветра реакция на увеличение уровня солнечной активности (среднегодовое значение W увеличилось в ≈ 5 раз) для зональной компоненты выражена значительно сильнее, чем для меридиональной. Для усредненных за сезон значений ветра, в большей части высотного интервала 80-110 км наблюдается появление составляющей зонального преобладающего ветра с величиной 4-8 м/с, направленной на запад.

Для суточного прилива реакция на увеличение уровня солнечной активности также более выражена для зональной компоненты. Вариации среднесезонных значений амплитуды суточного прилива демонстрируют сильную высотную изменчивость, однако, в высотных интервалах 85-90 км и 105-110 км наблюдается увеличение среднесезонной амплитуды суточного прилива на 80-100 %.

Вариации среднесезонных значений амплитуды полусуточного прилива при значительном увеличении уровня солнечной активности (среднегодовое значение W увеличилось в ≈ 5 раз) не превышают 50 % от амплитуды полусуточного прилива в годы спокойного Солнца и имеют сильную межгодовую изменчивость.

В результате совместного рассмотрения динамических параметров нейтрального ветра и параметров E_s слоя в течение трех солнечных циклов показано, что выявленная отрицательная корреляция интенсивных E_s слоев с циклом солнечной активности является результатом опосредованного воздействия вариаций уровня солнечной активности через параметры нейтрального ветра.

В результате рассмотрения вариаций динамических параметров нейтрального ветра в периоды возмущенной геомагнитной обстановки обнаружено, что для повышенных уровней геомагнитной активности наблюдается торможение преобладающего зонального ветра и появление составляющей меридионального ветра, направленной на север (рис. 5).

Для составляющих суточного и полусуточного приливов в основном наблюдается увеличение амплитуды для повышенных уровней геомагнитной активности. В ходе изучения реакции фазы суточного прилива на магнитные возмущения обнаружено, что реакция более выражена, чем для полусуточного, что, возможно, является одной из причин фазовой неустойчивости суточного прилива.

Для интенсивности мезо-масштабной турбулентности (характеризуемой совокупностью колебаний в спектре ветра с периодами менее часа) значительное увеличение (до 60%), вызванное вариациями уровня геомагнитной активности, наблюдаются только летом и зимой на высотах 104-110 км.

Проводился анализ вариаций горизонтальной дивергенции нейтрального ветра в магнитовозмущенные периоды. Известно, что при отсутствии данных о среднечасовых высотных профилях температуры по

вертикальным профилям горизонтальной дивергенции возможно количественно оценить среднюю величину вертикальной составляющей нейтрального ветра за период не менее 10 суток и сделать качественное предположение о ее знаке для более короткопериодичных процессов. Было выявлено, что при увеличении уровня геомагнитной активности в летний период наблюдается изменение знака горизонтальной дивергенции в высотном интервале 86-90 км и, предположительно, изменение знака вертикальной составляющей ветра. Такое изменение знака вертикальной составляющей нейтрального ветра может быть одним из факторов влияния геомагнитной активности на Es слой.

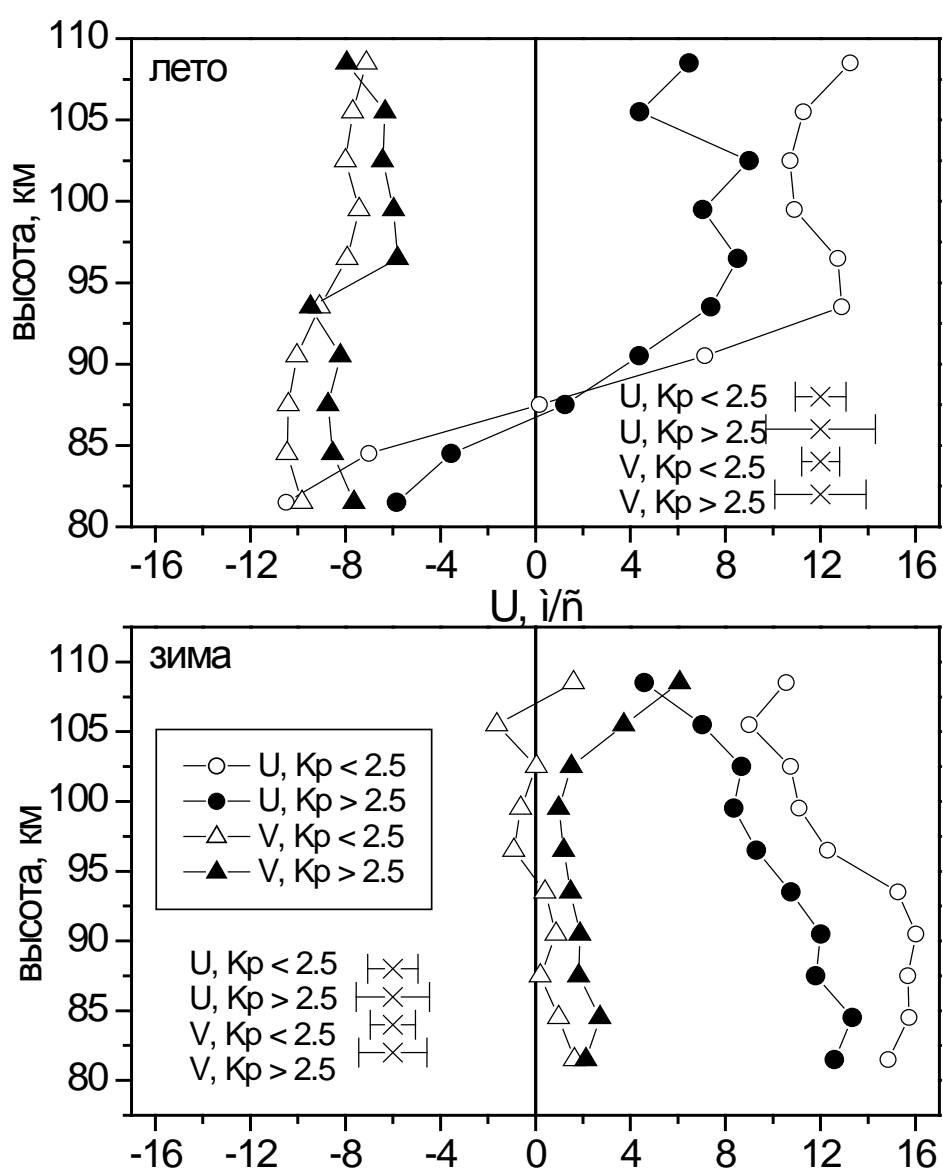


Рис. 4 Влияние геомагнитной активности на высотную структуру компонент амплитуды преобладающего ветра

В результате проведенного совместного исследования влияния геомагнитной активности на параметры спорадического слоя Е и динамические параметры нейтрального ветра выявлено, что воздействие геомагнитной активности на спорадический слой Е может быть результатом влияния геомагнитной активности на динамические параметры нейтральной атмосферы, особенно хорошо проявляющиеся в преобладающем ветре и мезомасштабной турбулентности.

Закключение. На основе проведенного анализа экспериментальных данных за период около трех солнечных циклов о частотных параметрах Es слоев для 22 среднеширотных станций, расположенных в северном полушарии и экспериментальных данных о высотных профилях параметров нейтрального ветра в интервале высот 80-110 км за период 1986-1999 г.г., а также данных о значениях преобладающего нейтрального ветра в среднем для высоты 95 км за 1979-1985 г.г. получены следующие результаты:

1. Выявлено существование значимых трендов частотных и вероятностных параметров Es слоев для ряда среднеширотных станций северного полушария; обнаружена их долготная изменчивость. При этом характерной особенностью является наличие отрицательных трендов полупрозрачности слоя Es и положительных трендов частоты экранирования.
2. Установлена зависимость реакции Es слоев на изменение уровня солнечной активности от интенсивности Es слоев. Для интенсивных слоев (с $f_oEs > 5$ МГц) предложено объяснение механизма влияния вариаций солнечной активности опосредованным воздействием солнечной активности на преобладающий зональный и меридиональный ветер.
3. Обнаружено, что реакция слоя Es на геомагнитное возмущение определяется состоянием слоя на момент прохождения возмущения: уменьшение интенсивности слоя происходит в случае, если в предшествующие возмущению сутки существовал интенсивный спорадический слой Е, а увеличение - в случае, если в предшествующие возмущению сутки спорадический слой Е отсутствовал или был слабо выражен.
4. Получено, что в основные сезоны года для слоя Es наблюдается преимущественно уменьшение интенсивности в день максимума геомагнитного возмущения. При этом, восстановление состояния слоя Es после прохождения геомагнитного возмущения зимой происходит быстрее, чем летом. Осенью преобладает увеличение интенсивности слоя Es с запаздыванием на 1-2 суток относительно начала геомагнитных возмущений. Весной выраженной реакции слоя Es на геомагнитную активность не наблюдается.

Основные результаты представленной диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Sherstyukov O.N., Maksyutin S.V. Affect of magnetic storm on a Sporadic-E layer.//Abstracts. 8 Scientific Assembly of IAGA with ICMA and STP Symposia. Uppsala. 1997. P.134.
2. Фахрутдинова А.Н., Шерстюков О.Н., Максютин С.В. Влияние геомагнитной активности на динамику нижней термосферы. Казанский ун-т.-Казань, 1998. Рус.-Деп. в ВИНТИ. 07.07.98. № 2123-B98, 24с.
3. Fahrutdinova A.N., Sherstyukov O.N. , Maksyutin S.V. Influence of magnetic storms on lower thermosphere dynamics and characteristics of Es-layer //Abstracts. 32nd COSPAR Scientific Assembly, Nagoya, Japan, 12-19 jul. 1998. P. 111.
4. Fahrutdinova A.N., Sherstyukov O.N. , Maksyutin S.V. The effect of geomagnetic activity on the upper mesosphere-lower thermosphere and on parameters of the Es-layer //Advances in Space Research, 1999.V.24. N11. P.1499-1502.
5. Максютин С.В., Фахрутдинова А.Н., Шерстюков О.Н. Слой Es и динамика нейтральной атмосферы в периоды геомагнитных возмущений. //Тезисы докладов 19 Всероссийской конференции по распространению радиоволн. Казань. 22-24 июня.1999. С.165-166.
6. Maksyutin S.V., Sherstyukov O.N, Fahrutdinova A.N Effect of geomagnetic disturbances on dynamics of neutral atmosphere and sporadic E layer. Abstracts. Part B // International Union of Geodesy and Geophysics, July 26-30.- Birmengem, 1999. P.157.
7. Sherstyukov O.N., Maksyutin S.V Long time variations in sporadic-E layer parameters // Environmental Radioecology and Applied Ecology. 2000. V.6. N1. P.11-15.
8. Fahrutdinova A.N., Guryanov V.V., Shantalinskiy K.M., Fedorov D.V., Maksyutin S.V., Jasnitsky D.S. Effects of time variable solar radiation on the mid-latitude lower and middle atmosphere dynamics // Environmental Radioecology and Applied Ecology. 2002. V.8. N3. P.22-28.
9. Fahrutdinova A.N., Maksyutin S.V., Sherstyukov O.N. Sporadic layer E and lower thermosphere dynamics depending on the solar activity //33 rd COSPAR Scientific Assembly 16-23 July 2000, Abstracts, Warsaw, Poland, Part C, p.403.
- 10.Sherstyukov O.N., Fahrutdinova A.N., Maksyutin S.V. Influence of dynamics of neutral winds in the lower thermosphere on the irregular structure of ionosphere //Lower atmosphere effects on the ionosphere and upper atmosphere, IAGA Workshop Prague 25-27 July 2000.
- 11.Fahrutdinova A. N., Sherstyukov O. N., Maksyutin S. V.The geomagnetic activity influence on the dynamics of the upper mesosphere and lower

- thermosphere //International Journal of Geomagnetism and Aeronomy 2001. V. 2, No. 3, p201-208..
12. Maksyutin S.V., Fahrutdinova A.N., Sherstyukov O.N. Es layer and dynamics of neutral atmosphere during the periods of geomagnetic disturbances //J. Atmosph. Solar-Terr. Phys. 2001. V.63. P.545-549.
 13. Maksyutin S.V., Sherstyukov O.N., Fahrutdinova A.N. Dependence of sporadic layer E and lower thermosphere dynamics on solar activity // Adv. Space Res. 2001. V.27, N.6-7, P. 1265-1270.
 14. Фахрутдинова А.Н., Ганин В.А., Степанов А.М., Ясницкий Д.С., Куликов В.В., Максютин С.В., Федоров Д.В. Отчет о научно-исследовательской работе, 2000. Исследование физики верхней атмосферы и солнечно-атмосферных связей радиофизическими методами // КазГУ, УДК 520.6.04/08:523.62, № госрегистрации 01.9.70 00 8271, Инв. № 02200104652, 2001.
 15. Maksyutin S.V., Sherstyukov O.N. Long - term trend in midlatitude E sporadic layer parameters // Abstracts. 34nd COSPAR Scientific Assembly, 2002. <http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR02/01783/COSPAR02-A-01783.pdf>
 16. Максютин С.В. Долгопериодные тренды в параметрах среднеширотного спорадического E слоя. // Труды XX всероссийской конференции по распространению радиоволн. Н.Новгород, 2002, С. 72.
 17. Фахрутдинова А.Н., Степанов А.М., Коротышкин Д.В., Максютин С.В. Радиомониторинг динамических процессов нейтральной верхней мезосферы – нижней термосферы и их воздействие на структуру ионосферы. // Труды XX всероссийской конференции по распространению радиоволн. Н.Новгород, 2002, С. 80.
 18. Максютин С.В., Шерстюков О.Н. Долговременные изменения параметров среднеширотного спорадического слоя E // Электронный журнал «Исследовано в России». 2003. 009, С. 97-103., <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/009.pdf>
 19. Sherstyukov O. N., Maksyutin S. V. Regional variability of long-term variations of midlatitude E - sporadic layer // Abstract. International Union of Geodesy and Geophysics 2003. Sapporo, Japan. <http://www.jamstec.go.jp/jamstec-e/iugg/htm/abstract/abst/jsa01/018654-1.html>
 20. Fahrutdinova A. N., Sherstyukov O. N., Guryanov V. V., Maksyutin S. V., Elkin A. Y. Sporadic E layer under influence of dynamical processes in the MLT-region. // Abstract. International Union of Geodesy and Geophysics 2003. Sapporo, Japan. http://www.jamstec.go.jp/jamstec-e/iugg/htm/abstract/abst/jsa02_p/019316-1.html

- 21.Максютин С.В., Шерстюков О.Н. Долгопериодные вариации параметров среднеширотного спорадического слоя E и их региональная изменчивость // Геомагнетизм и аэрономия 2004, Т.44. №5. С.655-660.
- 22.Максютин С.В., Шерстюков О.Н. "Тренды в параметрах среднеширотного спорадического слоя E" Четвертая Всероссийская Научная Конференция "ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ (ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИКА)" 22-24 июня 2004 г. Москва с.33.
- 23.Maksyutin S.V., Sherstyukov O.N. Trends in frequency parameters of mid-latitude E-sporadic layer // Abstracts. 35nd COSPAR Scientific Assembly, 2004. <http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR04/02808/COSPAR04-A-02808.pdf>
- 24.Maksyutin S.V., Sherstyukov O.N. Dependence of E-sporadic layer response on solar and geomagnetic activity variations from its ion composition. // Abstracts. 35nd COSPAR Scientific Assembly, 2004. <http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR04/02826/COSPAR04-A-02826.pdf>
- 25.Sherstyukov O.N., Fahrutdinova A.N., Maksyutin S.V., Ryabchenko E.Yu., Zykov E.Yu. Influence of neutral wind dynamics of lower thermosphere on irregular ionospheric structure. // Abstracts. 35nd COSPAR Scientific Assembly, 2004. <http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR04/02837/COSPAR04-A-02837.pdf>